1М

УДК 004.89

В.И. Межуев
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина
mejuev@ukr.net

Использование онтологий как моделей предметных областей

В статье анализируется проблема использования онтологий как моделей ПрО, то есть возможность выполнения онтологиями функций отражения существенных сторон ПрО, получения новой информации, прогноза, объяснения и др. Отдельный акцент делается на исследовании связи онтологий с математическими моделями.

Введение

Онтологический подход в настоящее время широко используется для описания различных предметных областей (ПрО). Однако решение возникающих над ПрО задач возможно только путем построения онтологий, являющихся моделями ПрО, то есть адекватно отражающих ее свойства, структуру и поведение. Предметом статьи являются понятия модели и онтологии. Задачей данной работы является анализ проблемы использования онтологий как моделей ПрО, т.е. возможность выполнения онтологиями функций отражения существенных сторон ПрО, получения новой информации, прогноза, объяснения и др.

Понятие онтологии

Под **онтологией** подразумевается точная, то есть выраженная формальными средствами, разделяемая спецификация концептуализации [1], [2].

Концептуализация является описанием множества понятий ПрО и связей между ними. Под *разделяемой* концептуализацией подразумевается, что данная концептуализация не есть частное мнение, а является общей для некоторой группы людей [1], [2].

Имеются также определения онтологии как формальной теории, ограничивающей возможные концептуализации мира [3]. В этом подходе онтология является способом представления концептуальной схемы ПрО через логическую теорию.

Важными представляются попытки формализации понятия онтологии (онтологической системы). Согласно [4] онтология формально задается тремя конечными подмножествами: понятий (концептов), связей и функций интерпретации как $O^d = \langle X, \Re, \Phi \rangle$.

$X = \{x_i \mid i = 1,...,L\}$ – конечное множество понятий, обозначающих объекты, процессы или явления ПрО;

$\Re = \{r_j \mid j = 1,...,M\}$ – конечное множество отношений между понятиями ПрО, например Is-A, Part-Of и др.;

$\Phi = \{\phi_k \mid k = 1,...,N\}$ – конечное множество функций интерпретации.

Заметим, что модель онтологии также должна включать аксиомы, которые вводятся с целью определения ограничений на значения атрибутов понятий, аргументов отношений, для проверки корректности информации, для вывода новой информации и др.

Авторы [4] приводят следующее расширенное определение онтологической системы: $\Sigma^{O} = \langle O^{meta}, \{O^{d\&t}\}, \Xi^{\inf} \rangle$, где O^{meta} – метаонтология, $\{O^{d\&t}\}$ – онтологии предметной области и задач соответственно, а $\Xi^{\inf}$ – система вывода, в основе которой лежит сетевое или гиперграфовое [5] представление онтологии.

Имеются также и другие работы, направленные на расширение формальной модели онтологии. Так, в [6] для определения отношений между терминами онтологии предлагается вводить весовые коэффициенты, указывать направления, а также типы связей (в соответствии с классификацией, принятой в методологии объектно-ориентированного анализа).

Следуя подходу, описанному нами в [7], мы предлагаем ввести в модель онтологии также множество методов ее использования и формальной проверки (на полноту, непротиворечивость, адекватность и др.).

$M = \{m_l \mid l = 1,...,N\}$ – конечное множество методов использования онтологии.

Таким образом, онтология определяется нами как $O^{d} = \langle X, \Re, \Phi, M \rangle$.

Однако идея нашей работы состоит не в увеличении количества структурных элементов онтологической системы, а попытке качественного расширения области применения онтологического подхода.

Заметим, что понятие онтологии теряет смысл, если не определено множество классов задач, где онтология может быть применена.

Рассмотрим традиционные классы задач, решаемых при помощи онтологий:

– унификация представления разнородной информации;
– интеграция пользовательских приложений;
– автоматизация рассуждений;
– моделирование и проектирование;
– управление знаниями [8];
– интеллектуальный поиск информации:
  а) «понятийные» запросы (Concept-based queries) – возможность производить запросы на основе значений понятий (а не на основе совпадения строк);
  б) «умные» запросы (Smart Queries) – возможность логического вывода не заданных явно знаний из созданных моделей;
– Semantic Web – это концепция сети, в которой каждый Web-ресурс на естественном языке снабжается онтологическим описанием, понятным компьютеру [9];
– Enterprise Semantic Web (ESW) – это реализация глобальной концепции Semantic Web в рамках ограниченной предметной области (например, отдельной организации).

Как мы отмечали выше, одной из новых задач является применение онтологий для формальной проверки свойств систем [7], [10]. Следующие разделы статьи посвящены дальнейшему анализу проблемы расширения области применения онтологий. Эту возможность мы усматриваем в расширении свойств и функций онтологии свойствами и функциями математической модели.

Классификация моделей и онтологий

В силу многозначности понятия модели в науке не существует как единой классификации моделей, так и способов моделирования. Наиболее важной в нашем подходе является классификация моделей, основанная на классификации используемых математических средств. Следуя этому критерию, выделяют статические или динамические, детерминированные и стохастические, линейные и нелинейные, дискретные и непрерывные и другие классы моделей [11], [12]. При математическом моделировании

строится абстрактная модель ПрО в виде алгебраических, дифференциальных и других уравнений, предусматривающих осуществление однозначной вычислительной процедуры, приводящей к их точному решению.

Заметим, что несмотря на то, что связи между концептами онтологии могут выражаться различными математическими средствами, онтология является декларативным описанием ПрО, не содержащим в себе императивной вычислительной процедуры.

Иным важным отличием онтологий от математических моделей является то, что онтологии предназначены для обработки информации, представляемой на естественном языке. В то же время интерес представляет связь онтологий с математическими моделями, выраженными на формальном математическом языке.

Несмотря на использование для описания различных по природе ПрО, преобладающим математическим аппаратом в онтологическом подходе является логика. Заметим, что логика отражает законы и формы мыслительных процессов, поэтому применимость логики к моделированию ПрО обусловлена тем предположением, что мы связываем в нашем мышлении понятия таким образом, как они связаны в самой действительности.

Исходя из этого, представляет интерес построение онтологий не в логической, а в математической (алгебраической или теоретико-множественной) семантике. Такие подходы уже анализировались в современной литературе, например, алгебраические структуры рассматриваются в качестве системы формальной онтологии в не-фрегевской онтологике ситуаций [13].

Однако представление онтологии как формальной системы требует обязательной разработки функций интерпретации используемых понятий и средств. Наличие таких средств позволит использовать онтологию в процессе обратного моделирования, т.е. для переноса полученных знаний на объект-оригинал.

Все существующие онтологии можно разделить на **метаонтологии** (или же онтологии верхнего уровня – top-level ontologies) и **онтологии предметной области** (или же предметно-ориентированные онтологии – domain-oriented ontologies).

Среди онтологий верхнего уровня наиболее известными являются:
– The Standard Upper Ontology [14];
– Sowa's top-level ontology [15];
– Cyc'supper ontology [16].

Предметно-ориентированные онтологии отражают специфику конкретной ПрО. Например, возможна такая общая классификация предметно-ориентированных онтологий:
– естественные (законы бытия природы);
– социальные (законы функционирования общества);
– абстрактные системы (законы разума).

В онтологиях верхнего уровня используются не зависящие от выбора ПрО универсальные понятия и отношения: *иметь частью*, *принадлежать к совокупности*, *быть связанным с*, *иметь свойством* и т.п. В предметно-ориентированных онтологиях используются конкретные, специфичные для данной ПрО понятия и отношения. Терминологическая база онтологии ПрО строится путем конкретизации понятий, определённых в метаонтологиях. Таким образом, данная классификация онтологий имеет основанием уровень абстракции понятий и отношений, используемых для описания ПрО.

Возможны также иные классификации онтологий, например, выделяют онтологии задач, определяющие терминологическую базу проблем, и сетевые онтологии, используемые для описания результатов действий объектов ПрО.

Структура модели и онтологии

В любой ПрО существуют две основные категории сущностей: во-первых, это составляющие ПрО физические или абстрактные объекты, во-вторых, отношения между этими объектами, характеризующие поведение ПрО. Именно поэтому первым этапом онтологического анализа является составление словаря терминов (тезауруса), обозначающего объекты ПрО, а также формулирование точных определений этих терминов (то есть понятий). Следующим этапом является фиксация логических отношений между соответствующими введенным терминам понятиями. Онтология также включает в себя аксиомы и правила вывода, согласно которым термины тезауруса могут быть скомбинированы для построения достоверных утверждений о состоянии рассматриваемой ПрО в некоторый момент времени.

Таким образом, основными компонентами онтологии являются:

- термины (классы, концепты), обычно организованные в таксономию;
- определения терминов (понятия);
- отношения между терминами;
- аксиомы и правила вывода;
- утверждения о ПрО.

Рассмотрение онтологии как математической модели ПрО требует включения в структуру онтологии следующих элементов:

– декларативной (описательной) части – спецификации базовых понятий (модельные объекты) ПрО и отношений между ними (законы функционирования объектов);

– императивной (процедурной) части – правил формирования модельных объектов ПрО и построения отношений между ними с целью решения поставленных задач;

– методов анализа моделей ПрО, позволяющих провести интерпретацию и формальную проверку свойств в рамках данной онтологии.

Как мы отмечали выше, на сегодняшнем этапе структура онтологии ограничивается только декларативной (описательной) частью, процедурная же часть, методы анализа онтологических моделей ПрО, функции их интерпретации и формальной проверки фактически остаются за пределами внимания исследователей.

Этапы процессов моделирования и онтологического анализа ПрО

В самом общем случае можно выделить следующие этапы процесса моделирования ПрО:

- построение модели;
- модельный эксперимент;
- перенос полученных знаний с модели на объект-оригинал (обратное моделирование).

Из приведенных этапов процесса моделирования следует, что модель необходима не сама по себе, а для осуществления особого вида деятельности – модельного эксперимента, в котором в процессе изменения параметров модели систематизируются данные о поведении ПрО. При этом выделяют прямую (исследование поведения модели при известных параметрах ПрО) и обратную задачу математического моделирования (поиск параметров модели путем сопоставления модели с ее оригиналом).

Общими этапами построения онтологии ПрО являются:

– создание и определение словаря терминов ПрО (тезауруса);

– фиксация логических взаимосвязей между соответствующими введенным терминам понятиями;

– описание правил и ограничений, согласно которым на основе введенной терминологии формулируются достоверные утверждения, описывающие состояние и поведение ПрО.

Таким образом, этапы моделирования и построения онтологии являются схожими. В то же время остается открытым вопрос о возможности использования онтологии в качестве модельного объекта в процессе модельного эксперимента. Заметим, что присущие объектам ПрО закономерности формулируются в результате наблюдений над ПрО. Так как время наблюдения всегда конечно, то справедливость закономерностей ПрО имеет определенную вероятность, т.е. в общем случае данные предположения являются гипотезами о свойствах ПрО, которые, вообще говоря, должны быть проверены на определенных состояниях модели ПрО в процессе модельного эксперимента.

Свойства моделей и онтологий

Для дальнейшего анализа возможности использования онтологий в качестве моделей ПрО сравним существенные признаки в определениях этих понятий. Заметим, что данные признаки являются необходимыми и достаточными условиями существования как моделей, так и онтологий.

Отражение существенных сторон. Важнейшим критерием модели является то, что она отражает (воспроизводит, имитирует) только существенные (с точки зрения решаемых задач) свойства объекта-оригинала. Свойство отражения лишь существенных свойств ПрО присуще и онтологиям. При рассмотрении любой ПрО существует огромное количество утверждений, с определенной долей вероятности отражающих состояние ПрО; построенная же онтология включает только необходимые для решения поставленных задач утверждения.

Заметим, что множество свойств и отношений ПрО потенциально бесконечно, поэтому невозможно построение модели, отражающей *все* свойства оригинала (в этом случае моделирование теряет смысл, т.к. модель становится идентичной оригиналу). Для решения практических задач достаточным критерием является адекватность ограниченного количества (выборки) свойств модели ПрО свойствам реальной ПрО.

Обобщение свойств. Модель является обобщением свойств ПрО. Онтология также отражает свойства ПрО в обобщенном виде, независимо от конкретного состояния объектов ПрО. Например, если мы рассматриваем предметную область, описывающую кубики на столе, то концептуализацией является набор возможных положений кубиков, а не конкретное их расположение в текущий момент времени (пример взят из [17]).

В то же время онтология может включать в себя и индивидуальные объекты. Например, в Web Ontology Language (OWL) [18] рассматриваются как классы, так и экземпляры класса, являющиеся конкретными объектами предметной области. Более того, понятия «класс» и «экземпляр» в OWL практически идентичны: например, экземпляр может стать классом, если он обобщает некоторые понятия ПрО.

Универсальность. Известным свойством математической модели является универсальность, т.е. ее применимость к описанию ПрО различной природы. Свойством универсальности обладают так называемые онтологии верхнего уровня (или же метаонтологии [14-16]).

Получение новой информации. Важнейшим критерием модели является возможность ее использования для получения новых знаний об объекте-оригинале, что применимо и к онтологиям. Заметим, что онтологии предназначены для описания ПрО

декларативным образом, которое допускает повторное использование и выводимость новых знаний при помощи метода дедукции (на основании аксиом онтологии).

Объяснение. Из функции получения новой информации следует возможность использования онтологий для объяснения закономерностей поведения ПрО. Заметим, что в литературе онтологии рассматриваются как дескриптивные структуры знания, описывающие семантику ПрО. Использование онтологий для объяснения требует отдельного исследования (например, требует анализа критерий достаточности онтологий для выполнения функции объяснения).

Прогнозирование. Важнейшим частным случаем функции получения новой информации об объекте-оригинале является возможность прогнозирования свойств ПрО. Представляется целесообразным использование онтологий в качестве прогнозных моделей, то есть для анализа будущих возможных состояний ПрО. Одним из свойств онтологии является ее разделяемость (согласованность), т.е. ее общность для совокупности людей [1], [2]. Это свойство позволяет рассматривать онтологию как результат работы группы экспертов, одной из форм которой является экспертное оценивание, т.е. прогноз на основе группового мнения экспертов. Целесообразным является применение статистических методов прогнозирования, что требует включения в онтологию ПрО объективных данных, определяющих значение свойства объектов ПрО во времени (т.е. временных рядов).

В настоящее время существует ряд работ, посвященных разработке временных (темпоральных) онтологий [19]. Идея состоит в том, чтобы сделать онтологии пригодными для моделирования динамики изменения предметных областей. Изменение свойств ПрО позволяет рассматривать X, $\Re$ как функции времени. Заметим, что множество функций интерпретации Φ, являющихся способом содержательного толкования любой формальной системы, также зависит от времени. Функции интерпретации тесно связаны с этапом обратного моделирования, т.е. переноса полученных знаний с модели на объект-оригинал. Отсутствие или невозможность построения функций интерпретации говорит о неадекватности построенной модели ПрО.

Множественность моделей и онтологий. Строение, свойства и поведение любой ПрО могут быть выражены при помощи модели. Возможны разные модели одной и той же ПрО, имеющие разную степень детализации или же концентрирующие внимание на различных сторонах исследуемого объекта. Возможны также разные онтологии одной и той же ПрО. Каждая такая онтология образует определенный семантический профиль или же семантическое измерение ПрО, а совокупность онтологий – единое семантическое пространство ПрО.

В связи с этим положением может быть введен принцип существования онтологии: для любой ПрО (так же, как и подобласти ПрО) существует (или же может быть построена) соответствующая ей онтология.

Интенсиональный (целевой) аспект построения моделей и онтологий. Как онтология, так и модель, являются *целевым отражением ПрО*. Формулировка *цели* построения как модели, так и онтологии ПрО предшествует разработке онтологии или модели. Отметим, что и цель можно определить как модель желаемого состояния ПрО.

Важно отметить, что *свойства модели ПрО зависят от цели ее построения*, т.е. для достижения иных возможных целей мы будем иметь другие модели.

Из этого пункта следует утверждение, что модель *не отражает ПрО как таковую*, а только те свойства, которые необходимы для достижения цели моделирования ПрО (т.е. решения поставленных задач над ПрО). Таким образом, мы можем иметь другие модели той же системы, в зависимости от поставленных целей (класса решаемых задач).

Адекватность онтологических моделей предметным областям. Как было показано нами выше, онтология ПрО включает в себя словарь терминов, их определения и отношения между ними. Адекватность онтологии ПрО основывается на предположении, что термины онтологии обозначают объекты ПрО, а отношения между терминами однозначно описывают зависимости между объектами ПрО.

Заметим, что онтология является формой существования знания, поэтому вопрос адекватности онтологии ПрО является частью более общей проблемы адекватности человеческого знания действительности. Основным критерием истинности знания является практика (эксперимент), в то же самое время практическая реализация онтологии, или же, лучше сказать, проблема представления онтологии в виде объекта модельного эксперимента, не являлась объектом исследования в научной литературе. В литературных источниках вопрос адекватности онтологии реальной действительности сводится к полноте и непротиворечивости аксиом и правил вывода онтологии, т.е. замыкается на самой онтологии как логической системе.

Рассмотрение онтологии как модели делает целесообразным использование онтологии в качестве объекта модельного эксперимента, что дает возможность оценить адекватность онтологии ПрО.

Выводы

– Проведен понятийный анализ модели и онтологии, определены существенные свойства в определении этих понятий.
– Показано сходство в структуре модели и онтологии, а также этапах процессов моделирования и онтологического анализа ПрО.
– Предложено дополнить модель онтологии множеством методов ее использования и формальной проверки.
– Рассмотрены классы задач, решаемые при помощи онтологий. Расширение области применения онтологического подхода возможно путем сближения понятия онтологии с понятием математической модели.
– Рассмотрение онтологии как модели делает целесообразным использование онтологии в качестве объекта модельного эксперимента, что даст возможность оценить адекватность онтологии ПрО.
– Обоснована возможность использования онтологии в качестве прогнозной модели ПрО.

Литература

1. Gruber T.R. A translation approach to portable ontologies [Электронний ресурс] / T.R. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – 5(2). – P. 199-220. – Режим доступа : http://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.pdf
2. Gruber T.R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing [Электронный ресурс] / T.R. Gruber // International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – Vol. 43. – P. 907-928. – Режим доступа : http://tomgruber.org/writing/onto-design.pdf
3. Guarino N. Understanding, Building, and Using Ontologies [Электронный ресурс] / N. Guarino. – Режим доступа : http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с.
5. Baget J.F. Extensions of Simple Conceptual Graphs: the Complexity of Rules and Constraints [Электронный ресурс] / J.F. Baget, M.L. Mugnier // Journal of Artificial Intelligence. – 2002. – 16. – Режим доступа : http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/jair/pub/volume16/baget02a.pdf

6. Мальцева С.В. Применение онтологических моделей для решения задач идентификации и мониторинга предметных областей [Электронный ресурс] / С.В. Мальцева. – Режим доступа : http://hse.ru/data/969/447/1233/1Мальцева%20С.В._Применение_онтологических_2.doc
7. Межуев В.И. Моделирование свойств операционной системы реального времени OpenComRTOS при помощи OWL-DL онтологий / В.И. Межуев // Збірник наукових праць ДонНТУ серії «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2009. – Вип. 10(153). – С. 39-46.
8. Peter Mika Towards a New Synthesis of Ontology Technology and Knowledge Management [Электронный ресурс] / Peter Mika, Hans Akkermans // Knowledge Engineering Review. – April. – 2004. – Режим доступа : www.cs.vu.nl/~pmika/research/papers/IR-BI-001.pdf
9. Berners-Lee T. The Semantic Web [Электронный ресурс] / T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila // Scientific American. – 2001. – May.
10. Eric Verhulst. An Industrial Case: Pitfalls and Benefits of Applying Formal Methods to the Development of a Network-Centric RTOS / Eric Verhulst, Gjalt de Jong, Vitaliy Mezhuyev // Lecture Notes in Computer Science. FM 2008: Formal Methods (Springer Berlin / Heidelberg). – 2008. – P. 411-418.
11. Введение в математическое моделирование : [учебное пособие] / под ред. П.В. Трусова. – М. : Логос, 2004.
12. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М. : Наука, 1997. – 320 с.
13. Васюков В.Л. Ситуации и смысл: не-нефрегевская (метафорическая) логика // Логические исследования. – Вып. 6. – Москва : РОС СПЭН, 1999. – С. 138-152.
14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://suo.ieee.org/
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.jfsowa.com/ontology/toplevel.htm
16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.cyc.com/cyc-2-1/cover.html
17. Добров Б.В. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения [Электронный ресурс] / Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. – Режим доступа : www.intuit.ru
18. OWL Web Ontology Language Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.w3.org/TR/owl-guide/
19. De Beule, J. Creating Temporal Categories for an Ontology of Time. In Rineke Verbrugge and Niels Taatgen and Lambert Schomaker, editors, BNAIC-04 [Электронный ресурс] / De Beule, J. Creating. – P. 107-114. – Режим доступа : http://arti.vub.ac.be/~joachim/Bnaic04.pdf

В.І. Межуєв

Використання онтологій як моделей предметних областей

У статті аналізується проблема використання онтологій як моделей предметних областей (ПрО), тобто можливість виконання онтологіями функцій відбиття істотних сторін ПрО, отримання нової інформації, прогнозу, пояснення та ін. Окремо акцент робиться на дослідженні зв’язку онтологій з математичними моделями.

V.I. Mezhuyev

Using Ontologies as Models of Application Domain

The problem of ontologies using as models of application domain (AD), i.e. the possibility of reflection by ontologies of essential sides of AD, acquisition of new information, forecasting, explanation, etc. is analyzed in the paper. Particular emphasis is being given to the research a link between ontologies and mathematical models.

Статья поступила в редакцию 11.06.2009.